



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

STUDY OF SMALL HYDROPOWER STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Juroška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Miroslav Juroška
Název	Studie malé vodní elektrárny
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura a normy z oboru využití vodní energie, hydrauliky a hydrologie.
- Hydrologické údaje a geodetické zaměření zájmové lokality.
- Firemní materiály dodavatelů stavební a technologické části.
- Ostatní odborné podklady se vztahem k zájmové lokalitě.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem práce je zpracování studie malé vodní elektrárny ve zvolené lokalitě. Návrh bude zpracován v jedné variantě stavební a technologické části. Výstupy práce budou zahrnovat tyto přílohy:

- průvodní a technická zpráva,
- situace širších vztahů,
- celková situace stavby,
- podélný řez MVE (v ose turbíny),
- půdorysný řez MVE,
- příčný řez MVE (osou oběžného kola),
- hydraulické a hydroenergetické výpočty,
- fotodokumentace.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem jedné varianty stavební a technologické části malé vodní elektrárny na řece Opavě v říčním km 8,540. Účelem stavby je využití hydroenergetického potenciálu toku pro výrobu elektrické energie. Studie obsahuje technickou zprávu, hydrotechnické a hydroenergetické výpočty, fotodokumentaci a výkresovou dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní elektrárna, Kaplanova turbína, hydroenergetický potenciál, vodní energie, řeka Opava

ABSTRACT

The Bachelor's thesis deals with a design of small hydropower station in river kilometre 8,540 of the Opava River. The purpose of the building is to generate electrical energy by using hydroenergetic potential. The preliminary design includes report, hydropower and hydrotechnical calculations, fotodocumentation and drawings.

KEYWORDS

Small hydropower station, Kaplan turbine, hydroenergetic potential, water energy, Opava River

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Miroslav Juroška *Studie malé vodní elektrárny*. Brno, 2020. 40 s., 31 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Studie malé vodní elektrárny* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 1. 6. 2020

Miroslav Juroška
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studie malé vodní elektrárny* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 1. 6. 2020

Miroslav Juroška
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

STUDY OF SMALL HYDROPOWER STATION

TECHNICKÁ ZPRÁVA

PŘÍLOHA A.1

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Juroška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2020

OBSAH

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE	10
2. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ STAVBY	11
2.1. STÁVAJÍCÍ STAV	11
2.2. HYDROLOGICKÉ ÚDAJE	12
2.3. GEODETICKÉ PODKLADY	13
2.4. GEOLOGICKÉ POMĚRY	13
3. NAVRŽENÉ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....	14
3.1. ÚČEL A POPIS STAVBY	14
3.2. ČLENĚNÍ STAVBY	16
4. STAVEBNÍ ČÁST	17
4.1. SO 1 – VTOKOVÝ OBJEKT.....	17
4.2. SO 2 – STROJOVNÁ MVE.....	20
4.3. SO 3 – VÝTOKOVÝ OBJEKT	21
4.4. SO 4 – VAKOVÝ JEZ.....	22
5. TECHNOLOGICKÁ ČÁST.....	23
5.1. PS 1 – MVE – STROJNÍ ČÁST	23
5.2. PS 2 – MVE – ELEKTROČÁST	24
6. ZÁVĚR.....	25
7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	26
8. SEZNAM PŘÍLOH	27
9. SEZNAM TABULEK.....	27
10. SEZNAM OBRÁZKŮ	27

1. Úvod a cíle práce

Využívání vodní energie patří odedávna k základním zdrojům získávání energie. Využití hydroenergetického potenciálu vodních toků má ve srovnání s využíváním jiných energetických, zejména neobnovitelných zdrojů, řadu neoddiskutovatelných výhod. Mezi hlavními lze uvést, že se jedná o čistý a obnovitelný zdroj energie, který neznečišťuje ovzduší a je bezodpadový. Zároveň se jedná o vlastní zdroj energie, jehož využívání je nezávislé na okolních zemích. [1]

Předmětem předložené práce je zpracování studie malé vodní elektrárny (MVE) u stávajícího jezu Děhylov na řece Opavě v km 8,540. Účel dostavby MVE spočívá ve využití zbývajícího hydroenergetického potenciálu stávajícího spádového stupně (průtoků a spádů) pro ekologicky čistou výrobu elektrické energie.

Cílem práce je návrh jedné varianty stavební a technologické části průtočné jezové MVE, vypracování výkresové dokumentace a zpracování hydrotechnických a hydroenergetických výpočtů.

2. Charakteristika území stavby

2.1. Stávající stav

Spádový stupeň se nachází na řece Opavě v km 8,540, v blízkosti Hlučinského jezera. Stupeň je tvořen betonovým tělesem umístěným v lichoběžníkovém profilu. Přelivná hrana o délce 28,0 m je kolmá na osu toku a nachází se na kótě 214,47 m n. m. Přelivná plocha má proudnicový tvar. Součástí konstrukce je i levobřežní sportovní propust, která je od jezu oddělena pilířem šířky 1,0 m. Zhlaví dělicího pilíře není nijak hydraulicky upraveno. Prostor pro vplutí do sportovní propusti o šířce 3,5 m se plynule zužuje až na šířku 2,0 m, která je konstantní po celé délce skluzu. Některá sdružení funkčnost propusti zpochybňují. Například podle webu, zaměřujícího se na bezpečnost jezů v ČR, je v podstatě nesjízdná. [7]

Vývar má délku 41,2 m a je ukončen prahem širokým 1,2 m. Přejít mezi prahem vývaru a dnem řeky je proveden kamenným záhozem v délce 36,0 m. Kamenný zához je ve březích prodloužen do patek vyvedených na kótu 213,80 m n.m. Patky a opevnění svahů okolo stupně jsou v nadjezí i v prostoru vývaru provedeny jako dlažba z lomového kamene do betonového lože. Opevnění je ve sklonu 1:2 na obou březích vytaženo až do úrovně koruny ochranných hrází, které v dané lokalitě lemují tok řeky. Na pravém břehu je do prostoru vývaru vyústěna výpust místního Poštovního rybníka. Na obou stranách toku, v nadjezí i v podjezí, jsou bermy zpřístupněny sjezdy. Na pravém břehu se ve vzdálenosti cca 80 m od objektu nachází asfaltová komunikace.

Ke stávajícímu spádovému stupni nebyla k dispozici žádná historická dokumentace, ani podrobný průzkum. Popis vychází primárně z výsledků místního šetření a dostupného zaměření místní lokality [3, 4].



Obr. 2.1 Stávající stav jezu Děhylov [3]

2.2. Hydrologické údaje

Hydrologické údaje povrchových vod byly převzaty od ČHMÚ pro jez Děhylov na řece Opavě v km 8,540. [5]

- **Číslo povodí:** 0-02-03-0210
- **Název profilu:** jez nad silničním mostem Hlučín - Děhylov
- **Plocha povodí:** 2028,17 km²
- **Průměrné roční srážky:** 764 mm
- **Průměrný roční průtok:** 17,5 m³.s⁻¹

Tab. 2.1 Hodnoty m-denních průtoků v profilu jezu Děhylov [5]

Průtoky Q_m (m - denní)							
dny	30	90	180	270	330	355	364
Q_m (m ³ .s ⁻¹)	41,30	20,60	11,00	6,19	3,77	2,61	1,87

Tab. 2.2 Hodnoty N-letých průtoků v profilu jezu Děhylov [5]

Průtoky Q_N (N - leté)							
roky	1	2	5	10	20	50	100
Q_N (m ³ .s ⁻¹)	100	148	225	292	368	480	575

2.3. Geodetické podklady

Geodetické podklady vycházejí z podrobného zaměření dané lokality, které bylo poskytnuto v rámci zadání práce.

2.4. Geologické poměry

V rámci zpracování nebyl proveden inženýrskogeologický průzkum. Skladba podloží byla převzata z již provedeného vrtu nacházejícího se v blízkosti jezu. Data byla získána prostřednictvím mapové aplikace České geologické služby, průzkum byl proveden firmou UNIGEO a.s. [6]

Po prozkoumání podkladů bylo zjištěno, že stavba bude založena na prachovcovitém podloží.

ZÁKLADNÍ LITOLOGICKÁ DATA		
Hloubka[m]	Stratigrafie	Popis
0.00 - 0.10	Kvartér	navážka hlinitý měkký, hnědá
0.10 - 1.50	Kvartér	navážka kamenitý štěrkovitý jílovcový průměrná velikost částic 2 cm max.velikost částic 1 dm, šedá, černá
1.50 - 3.00	Kvartér	navážka štěrkovitý jílovcový průměrná velikost částic 2 cm max.velikost částic 5 cm opracovaný, žlutá, šedá příměs: křemen
3.00 - 4.80	Kvartér	navážka štěrkovitý hlinitý tuhý měkký, žlutá, hnědá křemen ve valounech max.velikost částic 1 cm
4.80 - 5.80	Kvartér	hlína smouhovitý, šedá, rezavá křemen opracovaný ve valounech max.velikost částic 1 cm
5.80 - 6.40	Kvartér	písek střednozrnný jílovitý středně ulehlý zvodnělý, šedá, rezavá křemen ve valounech opracovaný max.velikost částic 1 cm
6.40 - 7.90	Kvartér	štěrk písčitý střednozrnný středně ulehlý zvodnělý, zelená, šedá křemen ve valounech opracovaný max.velikost částic 3 cm ojediněle max.velikost částic 1 dm
7.90 - 9.00	Karbon spodní [kulm, dinant]	prachovec [siltovec, aleurolit] silně zvětralý rozpadavý, šedá, černá
9.00 - 15.00	Karbon spodní [kulm, dinant]	prachovec [siltovec, aleurolit] zvětralý ve střípkách max.velikost částic 3 cm ojediněle max.velikost částic 8 cm, černá

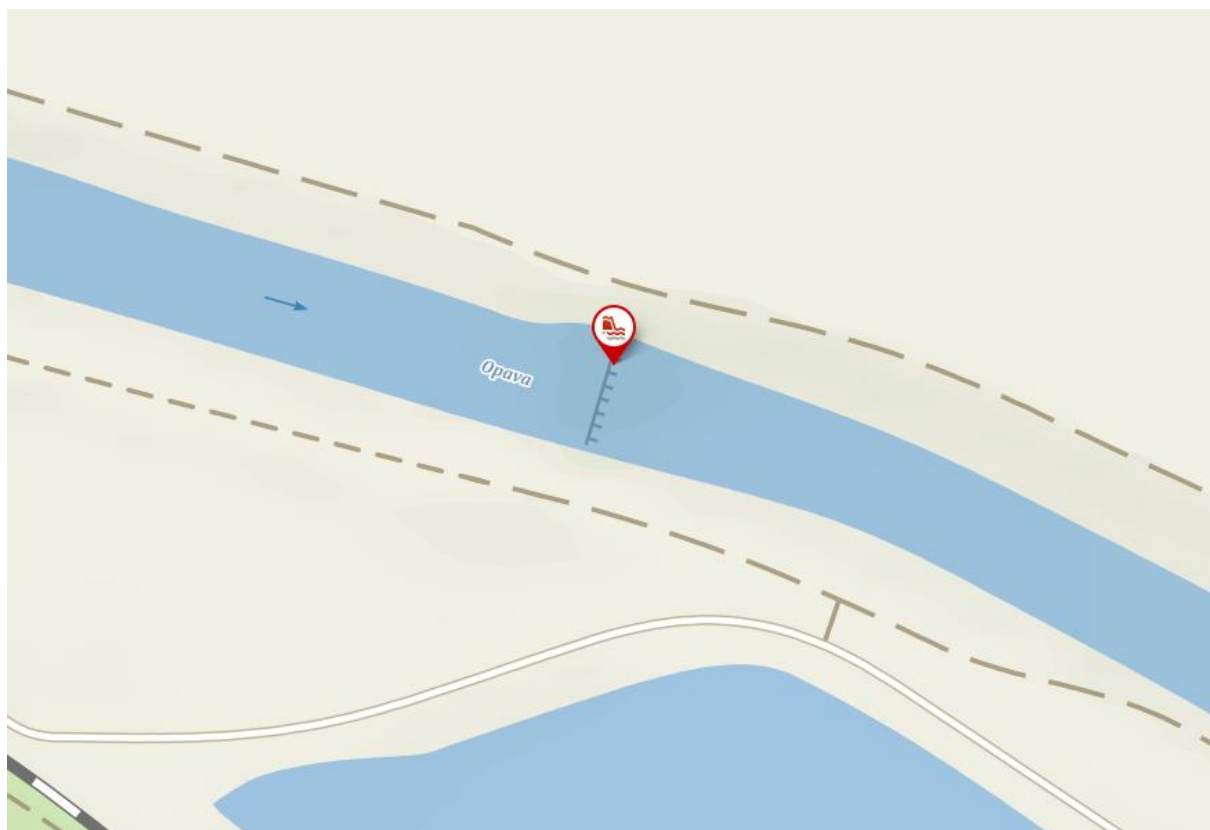
Obr. 2.2 Geologická prozkoumanost v okolí stavby [6]

3. Navržené technické řešení

3.1. Účel a popis stavby

Účelem stavby je dostavba MVE k využití hydroenergetického potenciálu stávajícího spádového stupně na řece Opavě v km 8,540 pro výrobu elektrické energie. K výrobě ekologicky čisté energie poslouží průtok, který v současné chvíli přepadá přes jez bez využití. Od průtoku, jenž bude moci být pro účel hydroenergetiky zpracován, je nutné odečíst průtok rybochodem $Q_{\text{bio}} = 2,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, stanovený na základě ochrannářských, rybářských, resp. hydrobiologických požadavků.

Předmětem stavby je vybudování příjezové MVE a souvisejících terénních úprav. Elektrárna se bude nacházet na pravém břehu řeky Opavy. Rozhodujícím faktorem pro umístění stavby byla snazší přístupnost ze stávající místní komunikace (viz Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Situace jezu [7]

Studie se zabývá návrhem dvou soustrojí turbín typu S-Kaplan. Jako návrhový průtok turbínami byl zvolen $Q_{120d} = 13,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kterému odpovídá návrhový spád $H = 2,10 \text{ m}$. V první fázi byl pro návrh na základě parametrů lokality použit pracovní diagram turbíny. Následně byla po konzultaci s výrobcem a na základě [15] vybrána dvě soustrojí s průměrem oběžného kola $D = 1450 \text{ mm}$. Turbíny budou pracovat s celkovým průtokem $2,36 - 13,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v rozmezí spádů $1,34 - 2,63 \text{ m}$. Pro podrobnější informace viz příloha A.2 *Hydrotechnické a hydroenergetické výpočty*.

Dle ČSN 75 0120 lze navrženou MVE zatřídit dle instalovaného výkonu ($P = 208,5 \text{ kW}$) do skupiny vodní minielektrárny. Dle velikosti maximálního provozního spádu ($H_{\max} = 2,63 \text{ m}$) se jedná o dílo nízkotlaké. [13]

Hladina v jezové zdrži bude po dostavbě MVE navýšena z dnešní úrovně koruny spádového stupně, tj. $214,47 \text{ m n. m.}$ na kótu provozní hladiny $215,67 \text{ m n. m.}$ Navýšení bude realizováno vakovou hradicí konstrukcí. Hladina v podjezí je závislá na velikosti průtoku vody v řece. Dle hydrotechnických výpočtů činí kóta minimální provozní hladiny v podjezí $212,89 \text{ m n. m.}$ (cca Q_{300d}).

Z konstrukčního hlediska je MVE rozdělena na strojovnu, vtokový a výtokový objekt. Vtokový objekt přivádí vodu z prostoru jezové zdrže ke vtokům turbín. Vtoková část je provedena jako polorámová železobetonová konstrukce navržená tak, aby umožnila příznivé rozdělení rychlosti ve vtoku. Nad prahem se nachází šikmo uložené hrubé česle opírající se o železobetonovou manipulační lávku s nornou clonou. Dále ve vtoku následuje druhý práh převýšený tentokrát o $0,6 \text{ m}$. Prostor před prahem je možno vypláchnout vyhrazením stavidlového uzávěru proplachovacího kanálu, který je vyústěn do vývaru. Těsně za prahem se nachází hydraulicky vhodně tvarované zhlaví dělicího pilíře, nad kterým se nachází manipulační lávka. Ve vtoku dále následují drážky provizorního hrazení a za nimi jemné česle. Česle jsou navrženy strojně stírané. Shrabky jsou po vytažení z vody ukládány do žlabu, odkud jsou následně proplachovány do kontejneru.

Strojovna MVE je krabicového tvaru a z větší části se nachází pod úrovní okolního terénu. Vzhledem k požadavku na vodotěsnost s ohledem na zatápění při průtocích velkých vod je strojovna provedena jako monolitická konstrukce z vodostavebního železobetonu. Přístup ke dveřím do strojovny je z koruny ochranné hráze toku realizován pomocí betonového schodiště. Rozměry stavby byly minimalizovány s ohledem na umístění dvou horizontálních Kaplanových turbín a manipulaci s nimi.

Osy turbín se nachází na kótě $212,91 \text{ m n. m.}$ Vzájemná světlá vzdálenost turbín činí $2,40 \text{ m}$. Na spodním podlaží strojovny se vyjma turbín a generátorů nachází jímka pro čerpání

prosáklé vody. Savky turbín jsou zaústěny pod úroveň prahu výtokového objektu MVE. Ten je proveden obdobně jako objekt vtokový, tedy jako železobetonový polorám. Prostor mezi prahem na výtoku a stávajícím korytem řeky bude vyplněn záhozem z lomového kamene. Bezprostředně za výtoky ze savek, které jsou vzájemně odděleny dělicím pilířem, se nacházejí drážky pro provizorní hrazení. Přístup z terénu k provizornímu hrazení je umožněn ocelovými stupadly a železobetonovou lávkou.

Vstup na horní podlaží (podestu) strojovny MVE je vzhledem k požadavku na vodotěsnost při povodňových průtocích osazen vodotěsnými dveřmi, jejichž práh se nachází na kótě 215,72 m n. m. Druhý vstup, nacházející se na kótě 216,94 m n.m., vede k provozním uzávěrům turbín. Z důvodu absence údajů o rozlivech a výšce hladiny stoleté vody, byla jako návrhová hladina Q_{100} uvažována kóta koruny ochranné hráze, která činí 219,14 m n. m. Na horním podlaží se nachází rozvaděče elektročásti MVE. Komunikační propojení mezi horní a spodní podlahou je umožněno ocelovým schodištěm.

Prostory strojovny jsou zastřešeny železobetonovým monolitickým stropem. Pro případ nutnosti demontáže soustrojí se ve střeše nachází obloukový pásový světlík. Ten plní také funkci přirozeného osvětlení vnitřních prostor strojovny. Dopravu součástí uvnitř elektrárny zajišťuje mostový jeřáb s mikrozdvihem a mikropojezdem.

3.2. Členění stavby

Dostavba MVE si vyžádá realizaci 4 stavebních objektů a 2 provozních souborů:

- SO 1 – Vtokový objekt
- SO 2 – Strojovna MVE
- SO 3 – Výtokový objekt
- SO 4 – Vakový jez

- PS 1 – MVE – strojní část
- PS 2 - MVE - elektročást

4. Stavební část

4.1. SO 1 – Vtokový objekt

Vtokový objekt slouží k přívodu vody z prostoru nadjezí ke vtokům turbín. Stejně jako celá stavba MVE je situován na pravém břehu řeky Opavy. Vtok je navržen tak, aby při odběru vody způsoboval minimální hydraulické ztráty a aby zabráňoval vnikání hrubých splavenin, plovoucích a unášených předmětů (např. dřeva, ledu apod.) k turbínám. [1]

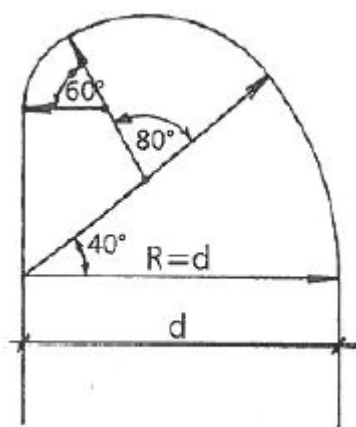
Ze statického hlediska je vtokový objekt řešen jako polorám. Konstrukce vtoku bude zhotovena z vodostavebního železobetonu. Veškeré železobetonové konstrukce budou vybetonovány na vrstvu podkladního betonu tloušťky 0,1 m.

Vtok do MVE je navržen jako zborcená přímková plocha s převýšeným prahem. Jedná se o beztlakový objekt s volnou hladinou a osovou délkou cca 28,45 m.

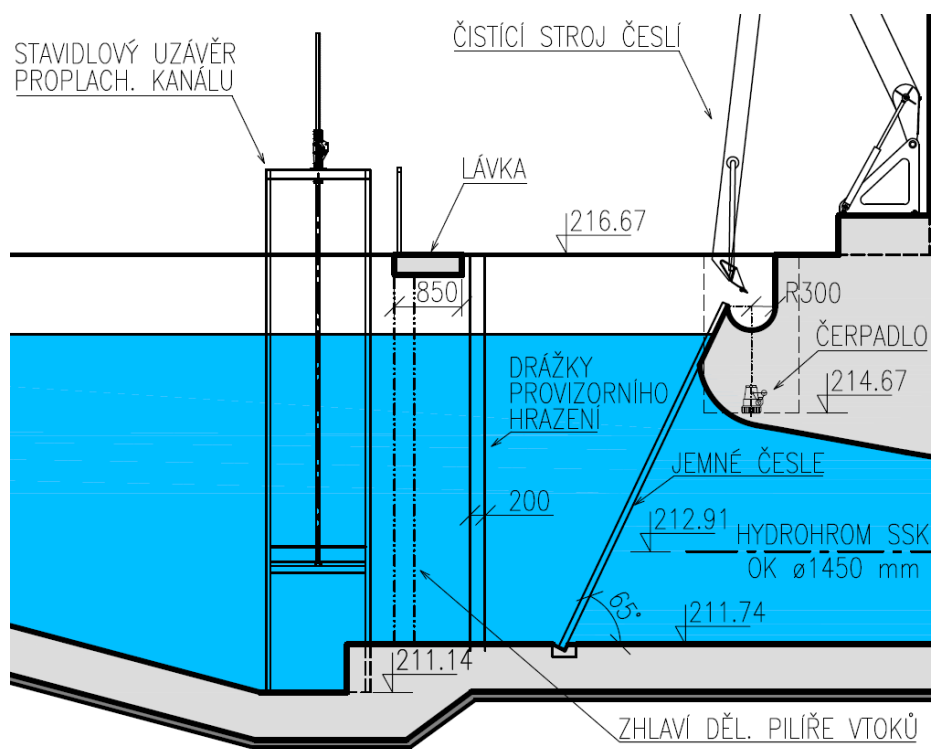
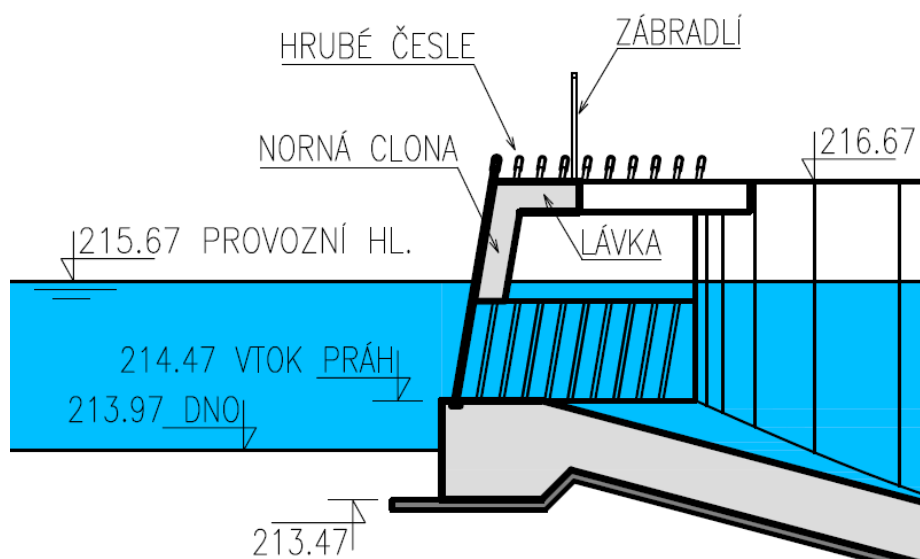
Dno v nadjezí a před vtokovým objektem bude pročištěno na projektovanou kótu 213,97 m n. m. Vtokový práh, jehož funkcí je zachytávání splavenin sunutých po dně toku, je oproti dnu v nadjezí převýšen o 0,5 m. Nachází se tedy na kótě 214,47 m n. m. V půdorysném uspořádání navazuje práh na zhlaví dělicího pilíře, jenž odděluje stavbu elektrárny od jezu. Tvarování hydraulicky vhodného tvaru zhlaví pilíře bylo provedeno dle *Obr. 4.1*. Ve vtokové části je horní úroveň dělicího pilíře na kótě 216,67 m n. m. Vtokový práh slouží mimo jiné i k uložení šikmo skloněných hrubých česlí. Česle jsou navrženy z tlustostěnných ocelových trubek o průměru 5,0 cm, přičemž světlá vzdálenost mezi jednotlivými česlicemi činí 35,0 cm. Svou horní částí se česle opírají o železobetonovou lávku, jejíž součástí je také železobetonová norná clona. Norná clona zasahuje 0,2 m pod úroveň provozní hladiny. Lávka o šířce 0,85 m je opatřena zábradlím a slouží k přístupu na dělicí pilíř. Uspořádání bezprostředně na začátku vtokového objektu dobře ilustruje *Obr. 4.2*.

Dno vtoku je vedeno zborcenou přímkovou plochou až na kótu nejnižší úrovně vtokového objektu 211,14 m n. m. Následuje druhý práh, převýšený o 0,6 m. Prostor před prahem je možno propláchnout vyhrazením stavidlového uzávěru proplachovacího kanálu. Kanál o průřezu 1,2 x 1,6 m je veden dělicím pilířem a je vyústěn do prostoru vývaru. Obvodové zdi kanálu o tloušťce 0,3 m jsou ze železobetonu. Těsně za prahem se nachází zhlaví dělicího pilíře ve tvaru půlkruhu, na kterém je položena železobetonová manipulační lávka. Pilíř šířky 0,5 m od sebe vzájemně odděluje vtoky do turbín o světlé šířce 3,8 m. V pilíři jsou pro případ zahrazení jednotlivých vtoků osazeny drážky provizorního hrazení (U 200) včetně dosedacího prahu. Ponoření horní hrany vtoků do turbín je navrženo tak, aby nedocházelo ke vzniku vírů a strhávání vzduchu do vtoků.

Postup výpočtu je uveden v příloze *A.2 Hydrotechnické a hydroenergetické výpočty*. Vtoky do turbín jsou dále osazeny jemnými česlemi. Uspořádání v prostoru okolo jemných česlí ilustruje *Obr. 4.3*. Česle jsou vyrobeny z pásové oceli a jsou skloněny pod úhlem 65° . Šířka česlí je totožná se světlou šířkou vtoku. Výška česlí činí 3,90 m. Česle jsou vybaveny strojním stíráním pomocí dvojice hydraulicky ovládaných čistících strojů. S jejich pomocí jsou shrabky shrabovány do splachovacího žlabu umístěného nad vtoky do turbín. Ze žlabu jsou pak shrabky splachovány do jímky, ve které je osazen kontejner na shrabky. Jímka je vybavena hydraulickým zvedákem, jenž umožní kontejner vyzvednout na povrch terénu, odkud bude následně naložen na nákladní automobil a odvezen k dalšímu zpracování. Jímka je provedena ze železobetonu o světých půdorysných rozměrech dle standardních rozměrů kontejneru. Hloubka jímky je 4,0 m. Jímka je po obvodu vybavena demontovatelným ochranným zábradlím. Splachování shrabků je provedeno pomocí ponorného čerpadla, jehož výtlak je zakončen tryskou umístěnou ve splachovacím žlabu. Čerpadlo je umístěno v jímce o světých půdorysných rozměrech 1,20 x 1,20 m. Výška jímky činí 2,0 m. Plnění jímky je založeno na principu spojených nádob. Voda do ní přitéká z prostoru za česlemi.



Obr. 4.1 Schéma tvarování zhlaví dělicího pilíře [1]



4.2. SO 2 – Strojovna MVE

Jelikož je vcelku složité, s ohledem na výškové zasazení objektu do okolního terénu, vymezit hranici mezi konvenčním označením horní a spodní stavba, je pro lepší orientaci použito zejména pojmů spodní podlaha a podesta.

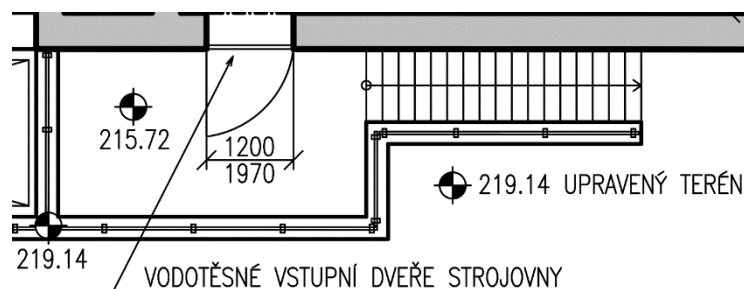
Strojovna MVE slouží pro umístění dvou kompletních soustrojí s horizontálními S-turbínami Hydrohrom 1450 SSK s přímo napojenými synchronními nízkootáčkovými generátory.

Základová spára stavby je lomená, v nejnižším místě umístěna na kótě 209,34 m n. m. Z důvodu ochrany před velkými vodami je zbylá část strojovny navržena z vodostavebního železobetonu. Vnější půdorysné rozměry strojovny jsou 9,2 x 11,4 m. Vnitřní uspořádání je přizpůsobeno tvaru hydraulického obvodu turbín a ostatního technologického zařízení. Turbíny situované na spodním podlaží jsou od sebe navzájem světle vzdáleny o 2,4 m. Osy turbín se nachází na kótě 212,91 m n. m. Pro případné průsaky stavbou a úkapy z ucpávek turbín je ve strojovně instalováno čerpání prosáklé vody. Čerpadlo je umístěno do jímky průsaků, která se nachází v nejnižším místě strojovny. V prostorách spodní podlahy se kromě turbín a generátorů dále nachází také čerpací agregáty mazacího a tlakového oleje. Komunikačně je spodní podlaha s podestou spojena pomocí ocelového schodiště. Podesta se nachází na kótě 215,72 m n. m. a je vybavena ochranným zábradlím. Jsou zde umístěny rozvaděče elektročásti MVE, čerpací agregáty provozních uzávěrů a čerpací agregáty čisticích strojů česlí. Pro případ manipulace s technologií jsou v podestě nad prostory generátorů realizovány otvory se dvěma demontovatelnými rošty. Ve strojovně se dále nachází jednonosíkový mostový jeřáb s mikrozdvihem a mikropojezdem. Nosnost jeřábu je 8 t.

Stavba je zastřešená monolitickým železobetonovým stropem tloušťky 300 mm. Ve střeše se nachází pásový akrylátový světlík o světlyých půdorysných rozměrech 2,4 x 5,5 m, sloužící jako montážní otvor a zprostředkovatel přirozeného osvětlení vnitřních prostor stavby. Dále jsou ve střeše navrženy dva střešní poklopy z pozinkovaného plechu o světlyých půdorysných rozměrech 1,2 x 3,0 m. Poklopy poslouží v případě potřeby vyzvednutí součástí provozního uzávěru mimo prostory budovy.

Vstup do strojovny je realizován vodotěsnými dveřmi na úrovni podesty. Druhý vstup, přístupný ze strany čisticích strojů, vede do prostoru provozních uzávěrů. Ty tvoří dva gravitační deskové uzávěry, nad kterými se nachází mokrý prostor délky 1,2 m. Úroveň vchodu do tohoto prostoru je na kótě 216,94 m n. m. Na téže kótě je instalován pochozí ocelový pozinkovaný rošt. Mokrý prostor uzávěrů je od zbytku strojovny konstrukčně oddělen zdí o tloušťce 0,4 m. Na povrch upraveného terénu kóty 219,14 m n. m. lze vyjít po železobetonovém schodišti s ochrannou obvodovou zdí, jejíž hrana je na kótě 219,14 m n. m. Zeď bude osazena

ochraným zábradlím. Schodiště s obvodovou zdí tvoří samostatný celek, od strojovny je oddílatované těsněnou dilatační spárou. Půdorysnou situaci vstupů do strojovny MVE názorně ilustruje Obr. 4.4.



Obr. 4.4 Půdorys vstupní strany strojovny MVE

4.3. SO 3 – Výtokový objekt

Výtokový objekt navazuje bezprostředně na stavbu strojovny MVE na straně dolní vody. Účelem výtokového objektu je odvedení vody ze savek turbín do podjezí. Světlá šířka jednotlivých výtokových sekcí je 3,8 m. Výtoky od jednotlivých turbín jsou odděleny pilířem tloušťky 0,5 m zakončeným polokruhovým zhlavím. Výtokový objekt je navržen jako polorám z vodostavebního železobetonu. Ve vzdálenosti 0,65 m od stěny strojovny se nachází drážky pro provizorní hrazení a dosedací práh o profilech U 200. Přístup k drážkám zajišťuje železobetonová lávka šířky 0,85 m. Lávka je opatřena zábradlím a nachází se na kótě 214,80 m n. m. Z terénu je přístupná pomocí ocelových stupadel.

Dno pod savkami na kótě 209,94 m n. m. stoupá zborcenou přímkovou plochou až na kótu výtokového prahu 212,10 m n.m. Kóta minimální provozní hladiny činí 212,89 m n. n. Dno i stěny výtoku mají tloušťku 0,60 m. Na konci jednotlivých výtokových sekcí jsou osazeny drážky pro provizorní hrazení výtoku. Prostor mezi výtokovým prahem a stávajícím korytem řeky bude vyplněn záhozem z lomového kamene.

4.4. SO 4 – Vakový jez

Za účelem navýšení spádu pro realizaci MVE bude zapotřebí provést přestavbu stávajícího spádového stupně. Studie počítá s vybudováním vakové hradicí konstrukce o výšce 1,20 m, která zajistí navýšení provozní hladiny v nadjezí na 215,67 m n.m.

Samotná přestavba zahrnuje částečné odbourání původního spádového stupně a výstavbu nového jezu, hrazeného pohyblivou vakovou konstrukcí na základech původní konstrukce.

Vakový jez je koncipován tak, aby umožnil udržování hladiny v nadjezí na požadované úrovni při proměnných průtocích bez nutnosti obsluhy. Princip bezobslužnosti zajišťují pryžotextilní vaky plněné vodou a ovládané pomocí ovládacích šachet umístěných v pilíři při pravém břehu řeky. Samotný vak bude pevně přikotven k betonové konstrukci spodní stavby nového jezu, ve které jsou umístěny rozvody plnicího a prázdnicího potrubí. Provoz jezu je vybaven automatikou zajišťující postupné sklápění jezu při nárůstu průtoku, a naopak jeho postupné vztyčování při jeho poklesu. V případě výpadku automatiky je vak schopen se vyprázdnit samostatně, zvýšeným přetlakem stoupající hladiny v nadjezí. [8]

5. Technologická část

5.1. PS 1 – MVE – strojní část

Jako vodní stroje jsou v MVE navrženy dvě soustrojí s horizontálními S-turbínami typu Semi-Kaplan o průměru oběžného kola 1450 mm od firmy Hydrohrom. Turbíny jsou levotočivé s automaticky přestavitelnými lopatkami oběžného kola dle automatiky hladinové regulace. Natáčení lopatek oběžného kola umožňuje hydraulický čerpací agregát umístěný v blízkosti turbíny. Před přechodovými kusy turbín se nacházejí provozní uzávěry. Jedná se o deskové gravitační uzávěry ovladatelné pomocí hydromotoru s čerpacím agregátem tlakového oleje. V případě výpadku sítě se uzávěry vlastní gravitační silou automaticky uzavřou. Při obnovení napětí se turbíny automaticky (postupně) uvedou do provozu. Soustrojí pracují paralelně se sítí v automatickém provozu v součinnosti se zabezpečovací automatikou a hladinovou regulací. Manipulace za účelem revize, či opravy je možná mostovým jeřábem instalovaným v prostorech MVE. Pro možnost vyzvednutí části turbíny nebo provozních uzávěrů mimo budovu elektrárny je ve stropě realizován pásový světlík, resp. střešní poklapy.



Obr. 5.1 Turbína HH 1450 SSK v MVE Zlatá Koruna [9]

5.2. PS 2 – MVE – elektročást

Elektrárna bude vybavena dvěma synchronními nízkootáčkovými generátory na nízké napětí (dále jen nn). Součástí dodávky strojního zařízení budou rovněž 3 skříňové rozvaděče umístěné v budově MVE na podestě. Půdorysné rozměry obou skříní jsou 0,6 x 1,2 m, výška 2,0 m. Ve skříních bude obsažena náplň potřebná pro jištění, spínání, ovládání a automatiku chodu příslušných generátorů. Automatizace provozu MVE je zajištěna řídicí jednotkou. Systém zahrnuje soubor snímačů kontrolujících nejdůležitější provozní stavové veličiny (např. tlak ovládacího regulačního oleje, max. přípustné otáčky strojů, teploty ložisek a olejových náplní, provozní teploty generátorů, či úrovně hladin vody). Přenos provozních informací pro obsluhu bude zprostředkován pomocí GSM modemu. Do rozvaděče bude rovněž zaústěna přípojka nízkého napětí. MVE bude připojena 30 m dlouhou kabelovou přípojkou na venkovní vedení nn. Detailní řešení připojení elektrárny na distribuční soustavu musí být projednáno s provozovatelem distribuční soustavy. Vlastní spotřebu elektrické energie MVE zprostředkuje rozvod nn se samostatným měřením. Kabelové rozvody v areálu i objektu elektrárny budou realizovány celoplastovými kabely s měděnými jádry, popř. pro některá čidla speciálními kabely. Pro rozvod kabelů budou využity kabelové kanály, žlaby, popř. rošty nebo lišty.

Podrobnější návrh elektročásti MVE je předmětem specializovaných profesí.

6. Závěr

Úlohou bakalářské práce bylo zpracování studie stavby malé vodní elektrárny. Pro výstavbu MVE byl vybrán spádový stupeň na řece Opavě s dosud nevyužitým hydroenergetickým potenciálem. Při návrhu bylo přihlíženo na technickou proveditelnost s ohledem na minimalizaci výše počáteční investice a následných provozních nákladů.

S cílem maximálního využití potenciálu v dané lokalitě bylo zvoleno osazení dvou soustrojí typu HH 1450 SSK od firmy Hydrohrom. Návrh počítá s úpravou stávajícího spádového stupně spočívající v navýšení vakovou konstrukcí. S navýšením hladiny v nadjezí o cca 1,2 m přímo souvisí i zvýšení spádu pro budoucí stavbu MVE.

V návaznosti na přestavbu jezu je možno doporučit zrušení stávající nevyhovující levo-břežní propusti. Odstranění případné migrační bariéry pro rybí obsádku v řece je vhodné realizovat prostřednictvím rybího přechodu. Biologický průtok, se kterým je počítáno v hydroenergetických výpočtech, je výhodné situovat na stranu pravého břehu, a to hned z několika objektivních důvodů. Ať už z pohledu lepší dostupnosti soustředěním všech objektů do jednoho břehu, minimalizace území dotčeného stavbou, nebo zajištění příhodného vábícího proudu pro samotné ryby, resp. lepší funkce uvažovaného nového prvku. Jako nejlepší možné řešení se jeví obtokové koryto přírodního charakteru. Vybudování technického typu rybochodu v těsné blízkosti elektrárny je kvůli spádovým poměrům obtížně technicky řešitelné.

Dalším úkonem, který lze doporučit, je ověření tvaru pilíře, jenž na vtoku podepírá manipulační lávku. Tvar pilíře je vhodné ověřit numerickým, nebo fyzikálním modelem.

MVE je navržena jako automatická, bezobslužná. Průměrná roční výroba elektrické energie byla hydroenergetickými výpočty vyčíslena na 959,4 MWh, což činí při výkupní ceně 2740 Kč/MWh [10] hrubý roční zisk cca 2 630 000 Kč. Pro výpočet ekonomické efektivnosti MVE a doby návratnosti investice by bylo nutné vyčíslit všechny náklady na výstavbu a provoz elektrárny. Ekonomická bilance však nebyla předmětem této práce.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] DUŠIČKA, Peter. *Malé vodní elektrárny*. Bratislava: Jaga, 2003. ISBN 80-889-0545-1.
- [2] *Nebezpečné jezy v ČR: Řeka Opava, Řiční km 8,5, Povodí Odry* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://www.nebezpecnejezy.cz/jez-Reka-Opava-ricni-km-85-Povodi-Odry.aspx?ID=117>
- [3] JUROŠKA, M. *Místní šetření: Fotodokumentace*. Děhylov, 2020.
- [4] *Geodetické zaměření: součást zadání práce*.
- [5] ČHMÚ. *Hydrologické údaje povrchových vod*. Ostrava, 2012.
- [6] UNIGEO. *Inženýrsko-geologický průzkum*. Děhylov, 2006.
- [7] *Mapy.cz* [online]. 2001 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [8] *Časopis stavebnictví: Vakový jez na Jizeře v Turnově* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/vakovy-jez-na-jizere-v-turnove_N3312
- [9] *Hydroka: MVE Zlatá Koruna* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://www.hydroka.cz/reference/mve-zlata-koruna/66>
- [10] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu* [online]. 2019 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5438957/N%C3%A1vrh+CR_POZE_2020_VKP.pdf/f3f8785c-57ea-4a13-bcdf-ae5041e38968
- [11] GABRIEL, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. *Malé vodní elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-010-1812-1.
- [12] *Měrná křivka koryta v podjezí: součást zadání práce*.
- [13] ČSN 75 0120: *Vodní hospodářství-Terminologie hydrotechniky*. 2009.
- [14] E-mailová korespondence s firmou Hydroka: *Manipulační řád pro MVE Pyskočely*. 2015
- [15] E-mailová korespondence s firmou Hydroka: *Tabulka výroby energie – MVE Pyskočely*.
- [16] *Obnova MVE Pyskočely, dokumentace skutečného provedení stavby*, Müra-bell, Hudlice, 2015.

8. Seznam příloh

A. Textové přílohy

A.1 Technická zpráva

A.2 Hydrotechnické a hydroenergetické výpočty

B. Výkresová dokumentace

B.1 Situace širších vztahů

B.2 Celková situace stavby

B.3 Podélný řez A-A

B.4 Půdorysný řez B-B

B.5 Příčný řez C-C

C. Obrazové přílohy

C.1 Fotodokumentace

9. Seznam tabulek

Tab. 2.1 Hodnoty m-denních průtoků v profilu jezu Děhylov [5] 12

Tab. 2.2 Hodnoty N-letých průtoků v profilu jezu Děhylov [5] 12

10. Seznam obrázků

Obr. 2.1 Stávající stav jezu Děhylov [3]..... 12

Obr. 2.2 Geologická prozkoumanost v okolí stavby [6]..... 13

Obr. 3.1 Situace jezu [7] 14

Obr. 4.1 Schéma tvarování zhlaví dělicího pilíře [1] 18

Obr. 4.2 Uspořádání na prahu vtokového objektu..... 19

Obr. 4.3 Uspořádání v prostoru okolo jemných česlí..... 19

Obr. 4.4 Půdorys vstupní strany strojovny MVE 21

Obr. 5.1 Turbína HH 1450 SSK v MVE Zlatá Koruna [9]..... 23